

применении составляет 10–50 мкг/л [1]. При получении концентрата допускается более высокое содержание серебра в растворе.

#### **Выводы:**

Проведение синтеза цитрата серебра анодным растворением серебра в лимонной кислоте при оптимальных условиях электролиза, а именно:  $c(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7) = 0,2$  моль/дм<sup>3</sup>,  $t = 18\text{--}25$  °С и  $j_a = 0,05\text{--}1$  мА/см<sup>2</sup>, способствует получению чистого и безопасного продукта и высокой энергоэффективности процесса. Готовые растворы цитрата серебра можно использовать в качестве биологически активных препаратов с выраженным антибактериальным и противогрибковым эффектом.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Полова Ж. М. Дослідження антимікробної активності цитратів срібла та міді з метою розробки фармацевтичних препаратів / Ж. М. Полова // Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики. – 2016. – № 1. – С. 71–74.
2. Пятницкий И. В. Аналитическая химия серебра / И. В. Пятницкий, В. В. Сухан. – М. : Наука, 1975. – 264 с.
3. Патент Российской Федерации № 2340565 С1, МПК C02F 1/50, A61L 2/18, C02F 103/02, 2008.

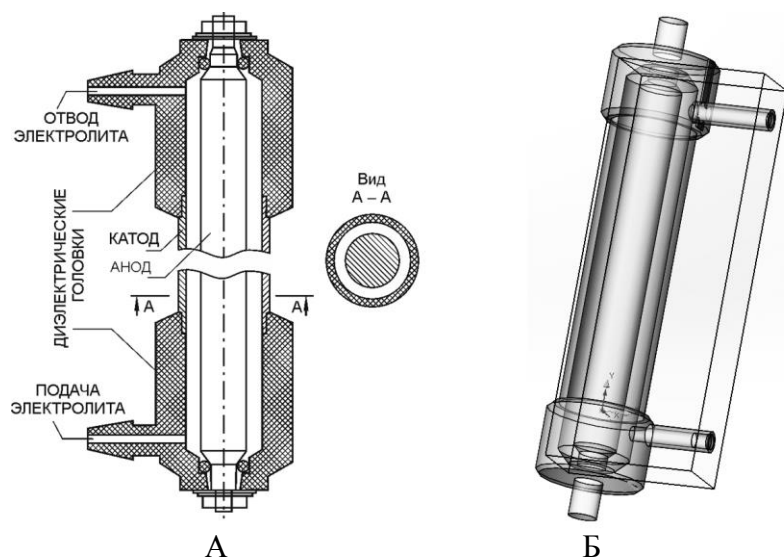
УДК 669.02.09

А.Ю. Бровин, к.т.н.,  
А.В. Басанец, магистрант,  
А.Д. Белошапка, магистрант  
НТУ "ХПИ", Харьков

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРОВ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Одним из эффективных методов обеззараживания природных вод является обработка разбавленными растворами гипохлорита натрия. В отличие от процесса традиционного хлорирования, в этом случае полностью исключается образование токсичных хлорорганических соединений. Получать растворы NaClO можно химическим и электрохимическим методом, причем в виду ограниченного срока хранения гипохлорита, второй вариант зачастую более

предпочтителен. В случае, если природная вода содержит заметные количества хлорид-иона (более  $120 \text{ мг/дм}^3$ ), становится возможным прямой электрохимический синтез разбавленных растворов активного хлора в простых проточных электролизерах [1]. Одна из часто используемых на практике конструкций приведена на рис.1А

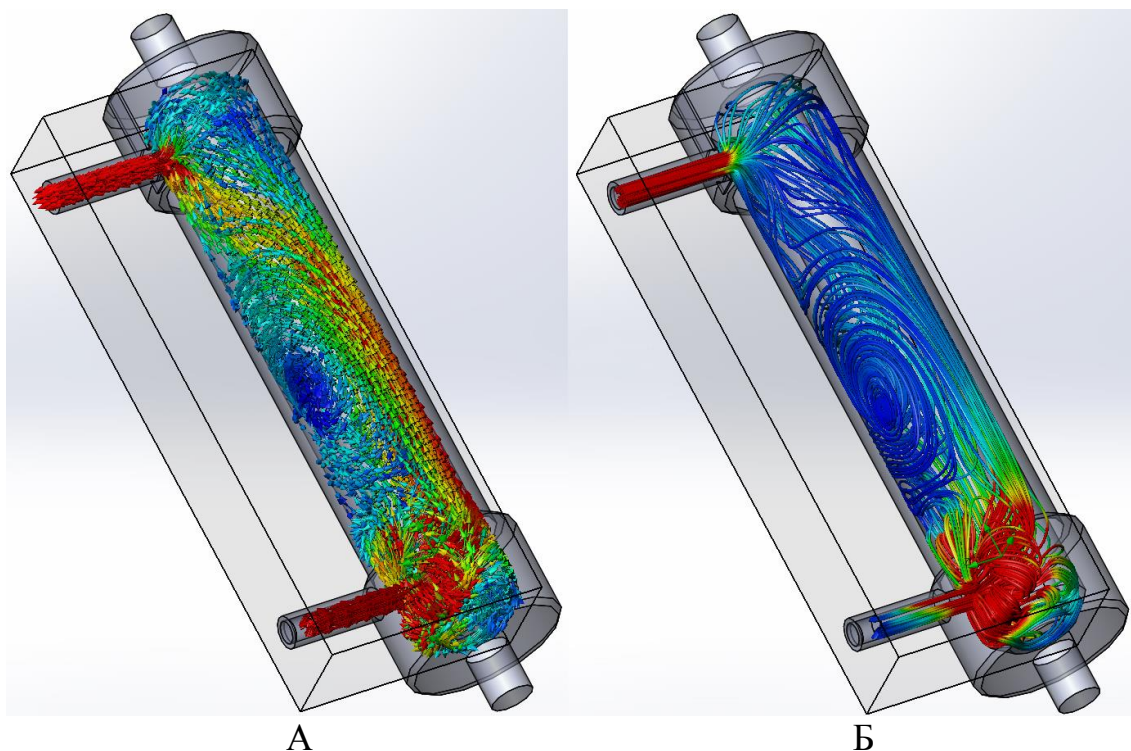


**Рисунок 1– Конструкция проточного электролизера для получения растворов активного хлора прямым электролизом воды (А) и его 3D-модель (Б)**

Одной из проблем, возникающих при эксплуатации такой конструкции, является значительный износ активного слоя оксидного рутениево-титанового анода. Он обусловлен сравнительно высоким анодным потенциалом, наблюдающимся в условиях низкой концентрации хлорид-ионов. Дополнительные сложности вызывает неравномерность износа отдельных участков цилиндрического электрода, что приводит к преждевременному выходу из строя анода в целом. Одной из вероятных причин такой неравномерности могли быть застойные явления в электролите, локализованном в зоне межэлектродного пространства.

Для проверки этой гипотезы была создана полноценная трехмерная модель электролизера в САПР Solidworks 2016, приведенная на рис. 1Б. Для моделирования гидродинамических процессов был использован пакет Flow Simulation, представляющий собой мощное средство решения задач вычислительной гидродинамики (CFD), полностью интегрированное в Solidworks.

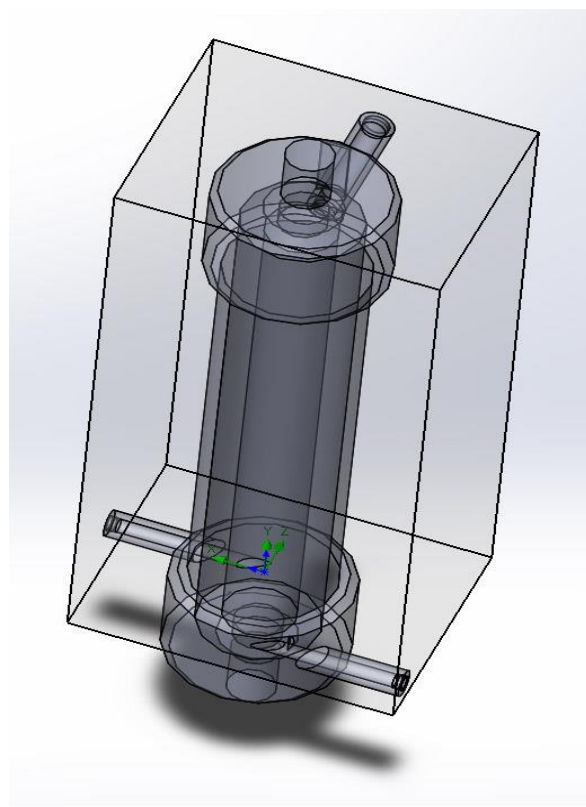
С помощью 3D-модели было выполнено полноценное гидродинамическое моделирование процессов движения электролита в межэлектродном пространстве, диэлектрических головках и патрубках подачи/отвода электролита.



**Рисунок 2 – Результаты гидродинамического моделирования скорости движения (А) и степень турбулентности потока электролита (Б) в проточном электролизере**

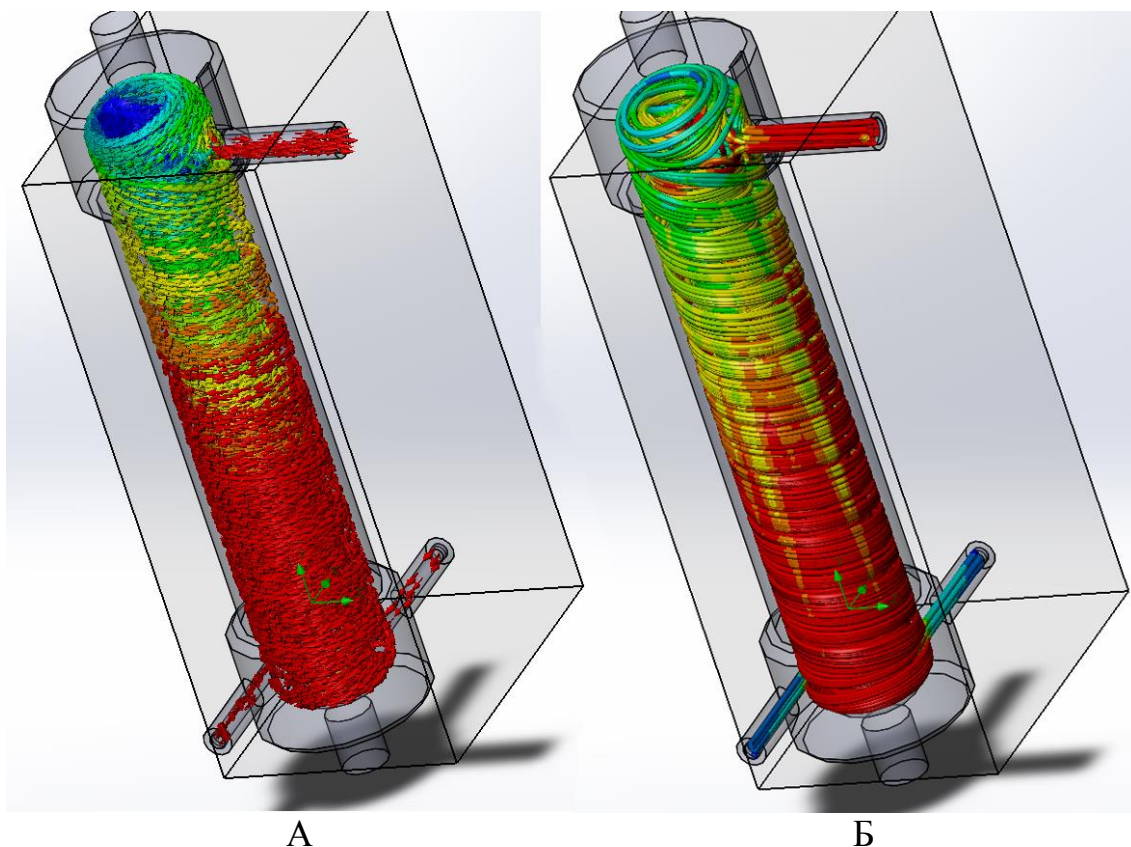
Определена относительная и абсолютная скорость движения электролита, а также степень турбулентности потоков. Установлено, что благодаря особенностям конструкции электролизера появляется стабильная неравномерность потока электролита с образованием застойных зон и обратных течений. Из-за отсутствия турбулентного перемешивания (рис. 1Б) это приводит к обеднению прианодного слоя электролита по хлорид-ионам. В результате в этих зонах значительно ухудшаются условия работы оксидного рутениево-титанового покрытия анода, что приводит к увеличению анодного потенциала и ускоренному износу локальных участков цилиндрического анода.

Для решения этой проблемы были предложены изменения в нижней части электролизера. В модернизированной конструкции вода подается через два тангенциально расположенных патрубка уменьшенного диаметра (рис. 3).



**Рисунок 3 – Усовершенствованная модель проточного электролизера для получения растворов активного хлора прямым электролизом воды**

Эти изменения затрагивают лишь нижнюю диэлектрическую головку, оставляя все остальные элементы конструкции неизменными. Таким образом, минимизируется стоимость подобной модернизации и упрощается ее практическое внедрение.



**Рисунок 4 – Результаты гидродинамического моделирования скорости движения (А) и степень турбулентности потока электролита (Б) в модернизированном проточном электролизере**

С помощью 3D-модели усовершенствованной конструкции было выполнено повторное гидродинамическое моделирование процессов движения электролита в межэлектродном пространстве, которое показало действенность предложенных мер. Методами вычислительной гидродинамики установлено, что двухпоточная тангенциальная схема подачи электролита в нижнюю диэлектрическую головку вызывает быстрое вихревое движение электролита по всей высоте электролизера (рис. 4А) со значительной турбулентностью (рис. 4Б).

Таким образом, предложенная модернизация полностью решает проблему неравномерного движения электролита, застойных зон и обратных течений, одновременно повышая выход по току целевого продукта за счет интенсивного перемешивания электролита.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants, 5th Edition, Black & Veatch Corporation, 2010, 1062